

Szakmai beszámoló a

## Gravitációs hullámforma jóslatok

című, F 49429 számú OTKA pályázatról

A pályázat futamideje alatt (2005 január 1 – 2008 december 31) az általános relativitáselmélet keretein belül folytattam kutatásaimat, amelynek célja a jelenleg méréseket végző gravitációs-hullám obszervatóriumok megfigyeléseihez tartozó elméleti háttér kidolgozása volt. A mérési eredmények kiértékeléséhez a várható jelalakok nagy pontosságú ismerete szükséges. A korábbi, kettős rendszerek mozgásának leírására vonatkozó eredményeket a poszt-newtoni (PN) formalizmus alkalmazásával kiterjesztettem az általuk keltett gravitációs sugárzás hullámformáinak leírására. Ehhez a munkához csatlakozott Majár János doktori hallgató, aki témavezetésemmel 2007 végén védte meg PhD disszertációját. A kozmológiai perturbációk témakörében Czinner Viktorral közösen születtek eredmények, akinek doktori témavezetésében vettem részt.

### Tudományos eredmények

#### Kettős rendszerek mozgása és hullámforma jóslatok

Az egymás körül keringő fekete lyuk és/vagy neutroncsillag kettősök jelentős források a gravitációs-hullám obszervatóriumok számára. Ezen objektumok egymás felé spirálózása jellegzetes jelalakot kelt, amelyet körpályák esetén a pályafrekvencia és annak fejlődése határoz meg. A gravitációs sugárzási visszahatást vizsgálva körpályák esetén megadtuk a pályafrekvencia (a gravitációs hullám frekvenciája ennek kétszerese) időbeli változását. Eredményeink az összes 2PN rendhez tartozó, a testek véges kiterjedéséből származó járulékokat is tartalmazzák, beleértve a testek spinjének, kvadrupól és mágneses dipól momentumainak hatását. Új eredményként szerepel a spinek önkölcsönhatásából származó járulékok levezetése. Ezen tagokról belátható, hogy a vezető rendű sugárzási korrekciókat jelentik abban az esetben, ha a kettős egyik tagjának forgása elhanyagolható a másik forgásához képest, továbbá, hogy neutroncsillag kettősök esetén (pl. az újonnan felfedezett J0737-3039 kettős pulzár) a spin-spin kölcsönhatással azonos nagyságrendű járulékokat adnak.

Korábbi kutatási eredményeinket felhasználva a kettős rendszerek excentrikus pályán való mozgását a Lense-Thirring közelítésben vizsgáltam 1.5PN rendben. Ekkor a kettőst egy nagy tömegű, forgó központi test körül keringő próbarészecske modellje írja le, ahol a két test tömegaránya, valamint a próbarészecske forgása elhanyagolható. A rendszer mozgását leíró szögek segítségével megadtam a gravitációs hullámot jellemző ortonormált vektortriád komponenseit. Ezen vektortriád segítségével meghatároztam a kialakuló gravitációs hullám polarizációs állapotait. 1.5PN rendben a metrika perturbációi a vezető rendű kvadrupól-járulékon felül további momentumokat is tartalmaznak. Ezeket figyelembe vettem a polarizációs állapotok származtatása során, amelyek így az adott rendben az összes spines járulékot tartalmazzák. Körpálya határesetben megadható a hullámformák explicit időfüggése.

A kettős rendszer mozgásának, valamint a keletkező gravitációs sugárzás leírását kiterjesztettem arra az esetre, amikor a két test tömege összemérhető, de egyikük forgása elhanyagolható. Az excentrikus mozgás tárgyalásához és a gravitációs hullámot jellemző ortonormált vektortriád megadásához a 2PN rendig megmaradó teljes impulzusmomentum-vektorhoz rögzített koordináta-rendszer bevezetésére volt szükség. Megadtam a rendszer mozgását leíró szögek változását ebben a rendszerben. A spin nagysága állandó, fejlődését a spinprecessziós egyenletek határozzák meg. Ennek segítségével megadtam a spint leíró szögek változását. A polarizációs állapotok meghatározása során a forgási hatások vizsgálata céljából csak a spint tartalmazó momentumokat vettem figyelembe a kvadrupól-járulékon felül. A polarizációs állapotok kifejezhetők az általánosított valódi anomália paraméter segítségével, valamint körpályák esetén az idő függvényében.

Az excentrikus pályán mozgó kettős rendszerek leírását kiterjesztettem arra az általános esetre, amikor a testek forgása és tömege összemérhető. A teljes impulzusmomentum-vektorhoz rögzített koordináta-rendszer segítségével megadtam a rendszert leíró szögek és dinamikai mennyiségek, valamint a polarizációs állapotok kifejezésére használt ortonormált vektortriád és projekciótenzor alakját. A spinprecessziós egyenletek alapján meghatároztam az egyes spinek polárszögeinek vezető rendű változását. Ezen eredmények segítségével megadtam a kialakuló gravitációs hullám polarizációs állapotait a sugárzási tér 1.5PN rendben érvényes momentumainak figyelembe vételével. A kapott eredmények függetlenek a pálya leírására használt paraméterezéstől és körpálya határesetben az irodalomból ismert eredmények adódnak. Az egy forgó testre, valamint az elhanyagolható tömegarányú kettősökre vonatkozó hullámformák határesetként adódnak. Ezek az eredmények a kettős rendszer excentrikus mozgásának és sugárzásának spinben lineáris, 1.5 PN rendű teljes leírását teszik lehetővé. A spinhatások fontosságát mutatja az az eredmény, miszerint azonos tömegű kettősök esetén a polarizációs állapotokat a spinek járulékok határozzák meg, az egyéb PN tagok elhanyagolhatók.

## **Kozmológiai perturbációk**

A kozmológiai perturbációk vizsgálatával a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás mérésekhez tartozó elméleti munkához kapcsolódtunk. Sík, pordominált Friedman-Robertson-Walker (FRW) univerzumot vizsgáltunk kozmológiai állandó jelenlétében, ami az univerzum gyorsuló tágulásának egyik egyszerű leírási módja. A kozmológiai állandó dominált univerzumban a gravitációs potenciál időfüggő, ami az integrális Sachs-Wolfe effektus (ISW) megjelenését eredményezi. Korábbi munkáinkra támaszkodva megadtuk a metrika skalár perturbációinak analitikus alakját. Ennek segítségével megadtuk a késői ISW teljesítményspektrumát az azt leíró integrál argumentumának analitikus előállításával segítségével. Eredményeink jó egyezést mutatnak korábbi numerikus számításokkal.

A sík, pordominált FRW kozmológiai modellek lineáris perturbációinak vizsgálatát kiterjesztettük a rotációval kapcsolatos vektor perturbációk leírására. Megadtuk ezek időfüggését kozmológiai állandót tartalmazó és a nélküli modellekben, valamint a rotációs tenzort, amit a vektor perturbációk határoznak meg. A Sachs-Wolfe-effektus alapján megadtuk ezen perturbációk kozmikus mikrohullámú háttérsugárzáshoz való hozzájárulását. Kiderül, hogy a domináns járulék a lecsatolódás körüli időszakból ered. Ennek segítségével megbecsültük a rotációs tenzorhoz tartozó szögsebesség jelenlegi és a háttérsugárzás kialakulásakor érvényes nagyságrendjét. Ez utóbbi jó egyezést mutat a galaxishalmazok jelenleg mért szögsebességével.

Megvizsgáltunk továbbá egy olyan kozmológiai modellt, amelyben a kozmológiai állandó helyett az anyagsűrűség változásai okozzák a gyorsuló tágulást. A sűrűségfluktuációk jelenléte a pordominált, homogén és izotróp FRW univerzum perturbációit eredményezi. Ebben a perturbált FRW modellben megadtuk a skálafaktornak a sűrűségperturbációk okozta, gyorsulást leíró járulékát.

### **Hazai és nemzetközi rendezvényeken tartott előadások**

A pályázat tematikájához kapcsolódó kutatási eredményekről a következő hazai és nemzetközi rendezvényeken tartott előadásokon számoltam be:

1. Vasúth M: *Self interaction of spins in binary systems*  
Albert Einstein Century International Conference, 18-22 July 2005, Paris, France
2. Vasúth M: *Perturbations of a cosmological constant dominated universe*  
11th Marcel Grossmann Meeting, 23-29 July 2006, Berlin, Germany
3. Vasúth M: *Gravitational waves of a Lense-Thirring system*  
11th Marcel Grossmann Meeting, 23-29 July 2006, Berlin, Germany
4. Vasúth M: *Orbital phase in inspiralling compact binaries*  
11th Marcel Grossmann Meeting, 23-29 July 2006, Berlin, Germany
5. Vasúth M: *Pulzár megfigyelések*  
Elméleti Fizikai Iskola, augusztus. 28 - szeptember 1, 2006, Gyöngyöstarján
6. Vasúth M: *Poszt-newtoni formalizmus*  
Elméleti Fizikai Iskola, augusztus 28 - szeptember 1, 2006, Gyöngyöstarján
7. Vasúth M: *Gravitational waves from compact binary systems*  
29th Spanish Relativity Meeting, 4-8 September 2006, Palma de Mallorca, Spain
8. Vasúth M: *Gravitational waveforms for compact binaries*  
18th International Conference on General Relativity and Gravitation and 7th Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves, 8-14 July 2007, Sydney, Australia
9. Vasúth M: *Spin evolution in binary systems*  
18th International Conference on General Relativity and Gravitation and 7th Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves, 8-14 July 2007, Sydney, Australia
10. Vasúth M: *A Kerr-téridő geodetikussai*  
Elméleti Fizikai Iskola, Aug. 25 - 30, 2008, ELTE

### **Részvétel egyéb konferenciákon**

1. Vasúth M: 1st VESF School on Gravitational waves, 22-26 May 2006, Cascina, Italy
2. Vasúth M: VIRGO week, 15-17 July 2008, Cascina, Italy